

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO
NICOLE MIGLIORINI MAGAGNIN

CIRCUITOS ELETRÔNICA BÁSICA – M3

Relatório apresentado como requisito parcial
para a obtenção da M3 da disciplina de
Eletrônica básica do curso de Engenharia de
Computação pela Universidade do Vale do
Itajaí da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia.

Prof. Walter Antonio Gontijo

Itajaí

2021

1. OBJETIVO

Este relatório tem como objetivo demonstrar as implementações, cálculos e simulações de circuitos da terceira média da matéria de Eletrônica Básica. As simulações são realizadas no software *Multisim* e comparadas com os valores calculados por meio do conteúdo da disciplina.

2. INTRODUÇÃO

Conforme descrito durante a segunda etapa da disciplina de Eletrônica Básica, transistores são dispositivos semicondutores, feitos com silício ou germânio e usados para amplificar ou atenuar a intensidade da corrente elétrica em circuitos. Eles são um bloco fundamental na construção de circuitos eletrônicos, como chips de computadores e smartphones.

Uma vez que esses dispositivos se comportam como chave, é necessária apenas uma análise DC de seu comportamento, porém quando é necessário seu uso para a implementação de um amplificador de sinais, torna-se necessária a sua interpretação de maneira AC. Para a análise AC é desconsiderada a influência dos capacitores de acoplamento e de passagem, transformando-os em curto-circuito, diferente da análise AC onde eles se tornam parte de um circuito aberto.

3. EXERCÍCIOS E RESULTADOS

3.1 - EXERCÍCIOS

Considere o circuito apresentado. Determine a polarização DC e a análise AC.

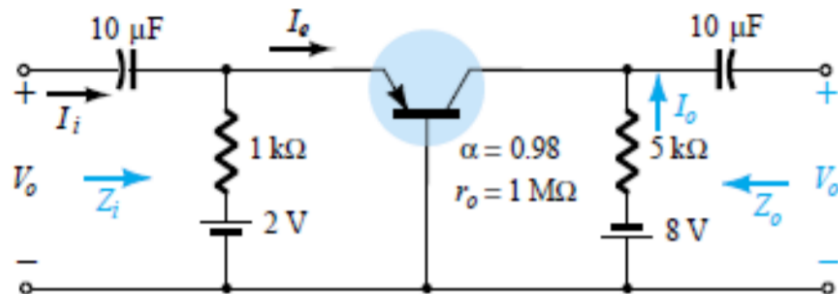


Figura 1 - Circuito proposto

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0,98}{1-0,98} = 49$$

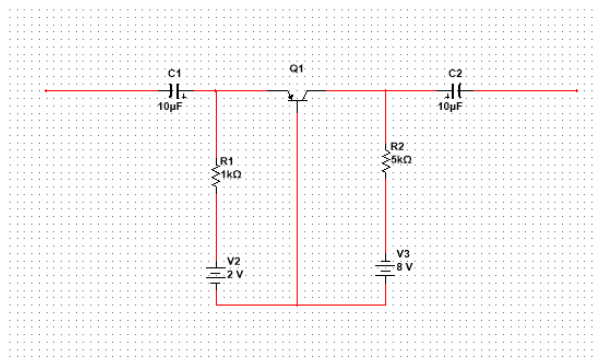


Figura 2 - Simulação inicial

PROPOSTA

- Monte no simulador o amplificador BC.
- Adicione um gerador de funções na entrada do amplificador.
- Configure para um sinal senoidal de 1 kHz, com amplitude de 5mV pico.
- Coloque uma ponteira do scope em vi e a outra em vo. Vc deve observar na saída um sinal senoidal de mesma frequência da entrada, amplificado pelo ganho de tensão.
- Obtenha o ganho de tensão das formas de onda.
- Compare o resultado da simulação com o calculado

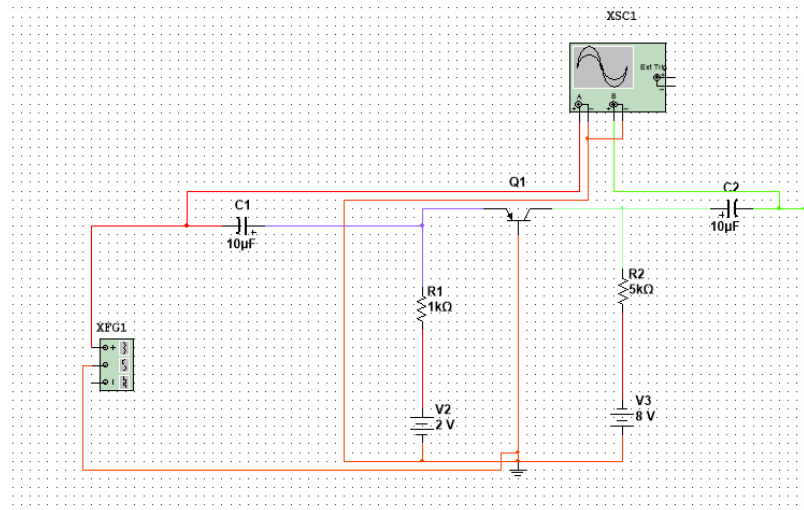


Figura 3 - Circuito simulado conforme as especificações

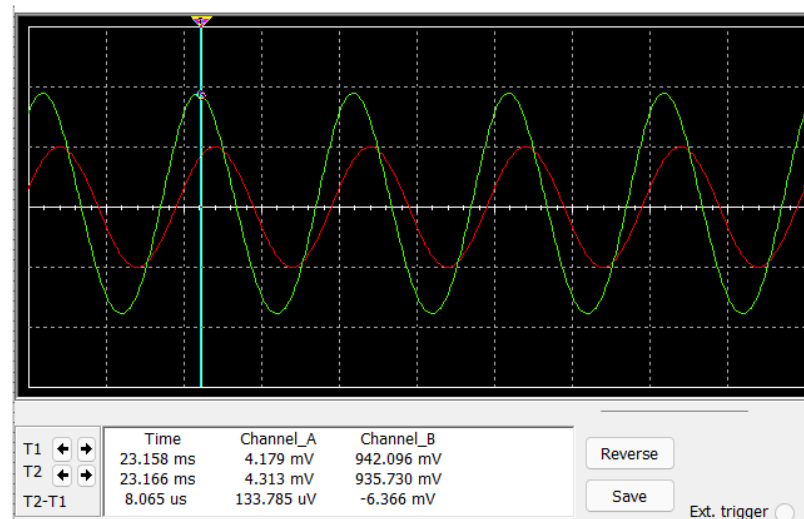


Figura 4 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{942,096mV}{4,179mV} = 225 V$$

ANÁLISE DC

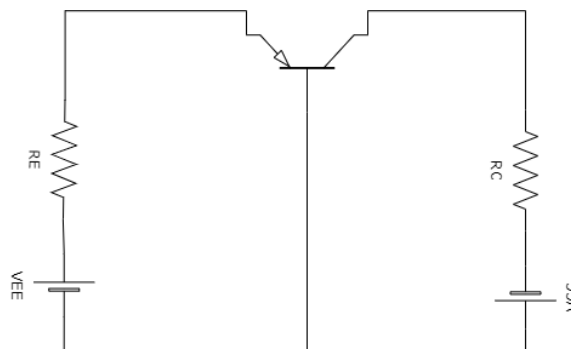


Figura 5 - Análise DC

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{2 - 0,7}{1k} = 1,3mA$$

$$I_C = \alpha * I_E = 0,98 * 1,3mA = 1,274mA$$

$$V_B = 0V$$

$$V_E = 0,7V$$

$$V_C = -V_{CC} + I_C * R_C = -8 + 1,274 * 4 = -2,9$$

$$r_e = \frac{26mV}{I_E} = 20 \Omega$$

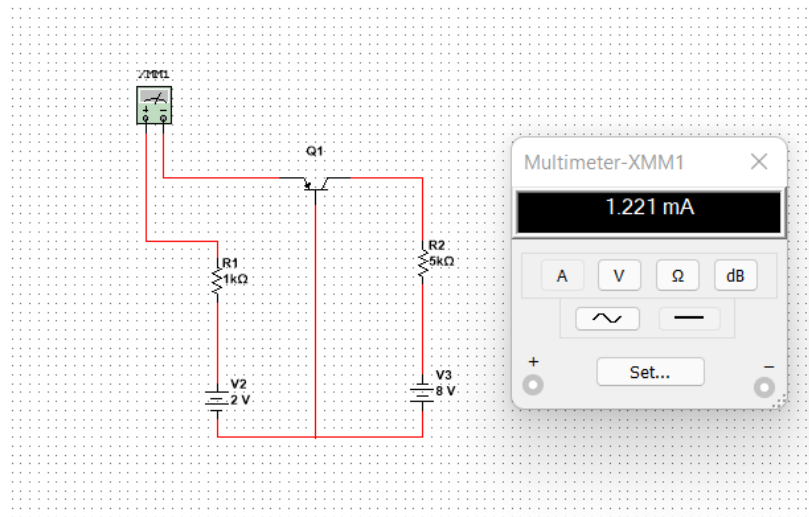


Figura 6 - Simulação DC com mensuração de I_E

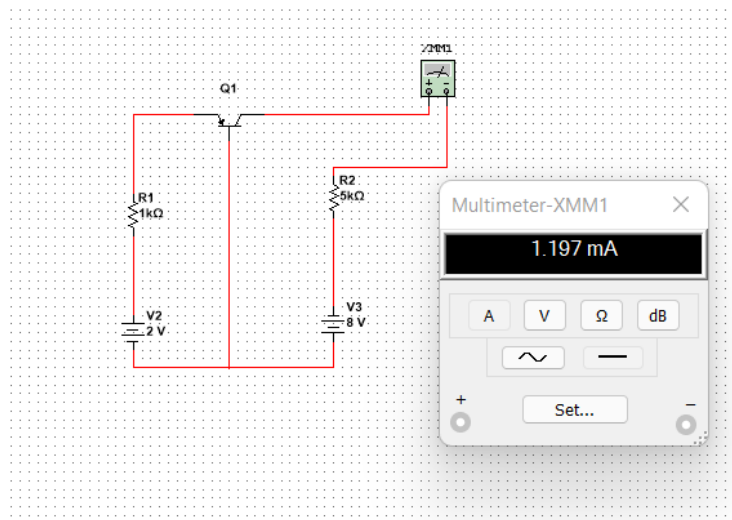


Figura 7 - Simulação DC com mensuração de I_C

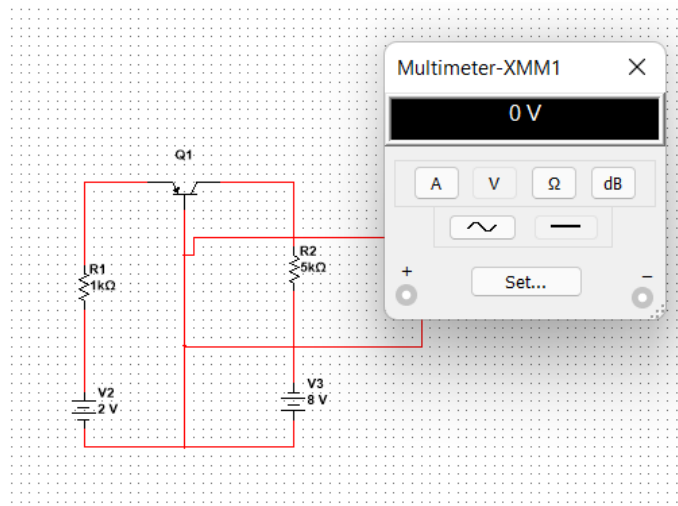


Figura 8 - Simulação DC com mensuração de VB

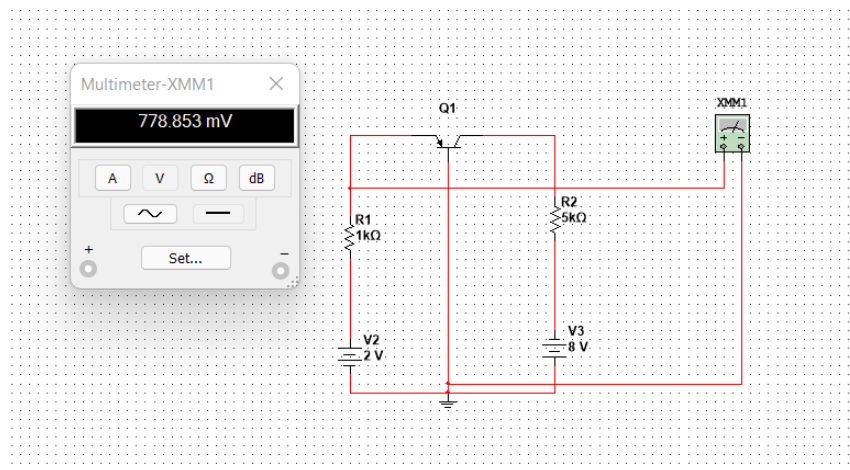


Figura 9 - Simulação DC com mensuração de VE

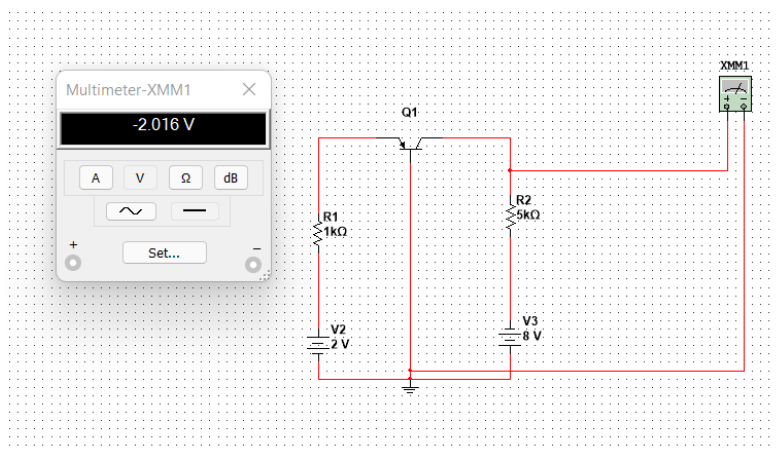


Figura 10 - Simulação DC com mensuração de VC

TABELA COMPARATIVA

Componente	Cálculo	Simulação
IE	1,3 mA	1,221 mA
IC	1,274 mA	1,197 mA
VB	0 V	0 V
VE	0,7 V	0,77 V
VC	-2,9 V	-2,016 V

ANÁLISE AC

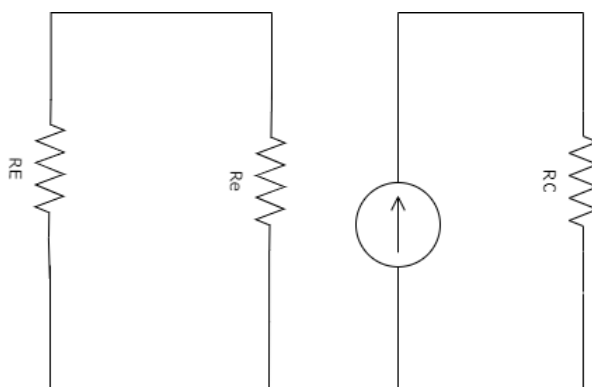


Figura 11 - Análise AC

$$Z_i = R_E // r_e = 1k // 20 = 19,6 \Omega$$

$$Z_O = R_C = 5k\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_c}{r_e} = 250$$

$$I_1 = \alpha * I_E = 1,3 * 0,98 = 1,274 A$$

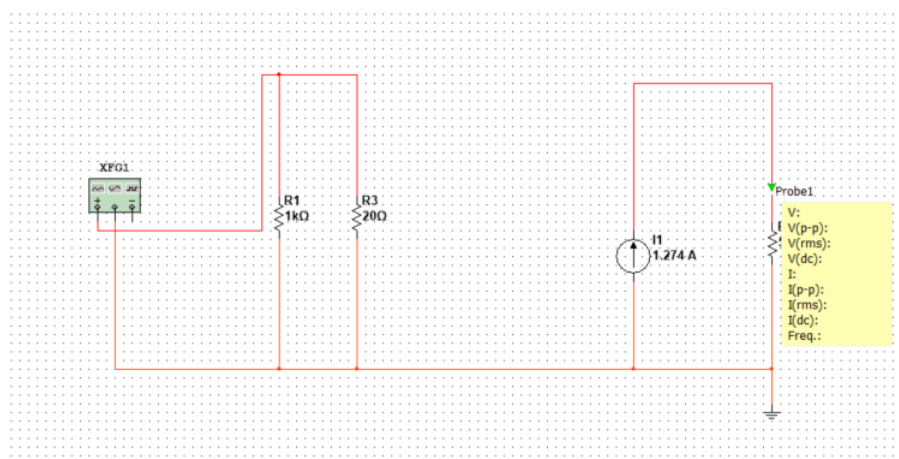


Figura 12 - Circuito AC

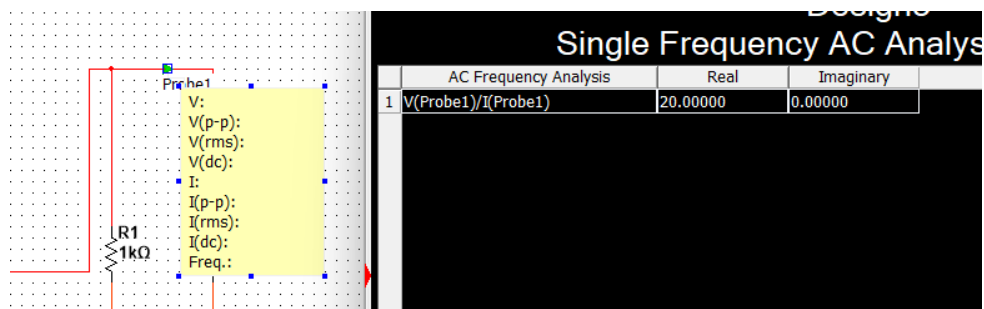


Figura 13 - Impedância Zi

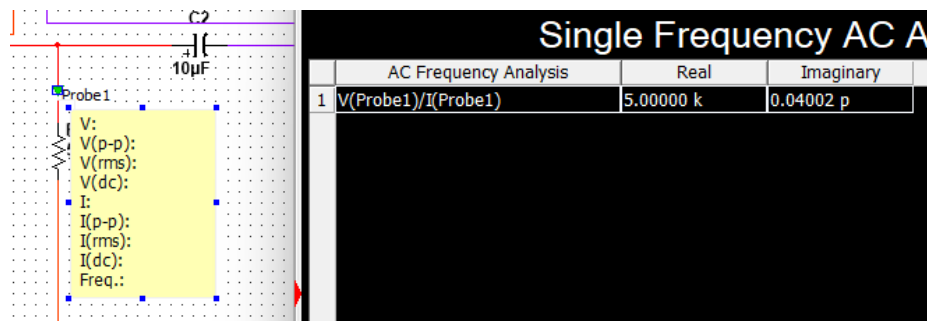


Figura 14 - Impedância Z0

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	19,6 Ω	20 Ω
Z0	5kΩ	5kΩ
Av	250 dB	225 dB

3.1-2 - POLARIZAÇÃO FIXA

Determine:

- IB, IC, IE, VB, VE, VC, VCE
- Zi, Zo, AV

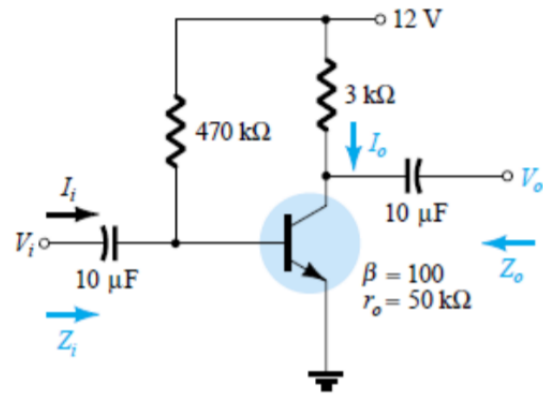


Figura 15 - Circuito proposto

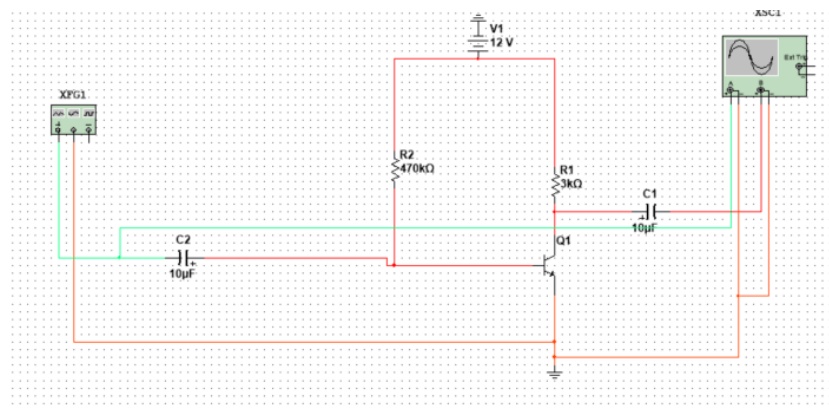


Figura 16 - Circuito simulado

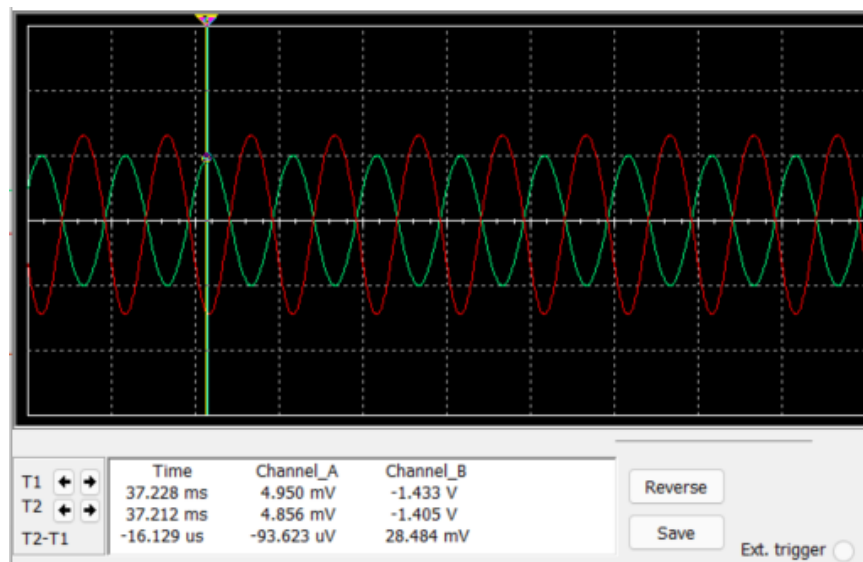


Figura 17 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-1,433}{4,950mV} = -289 \text{ dB}$$

ANÁLISE DC

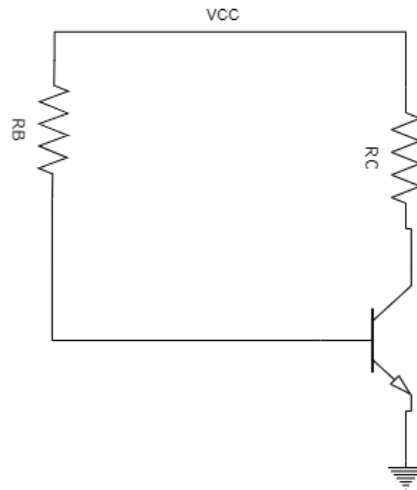


Figura 18 - Análise DC

$$\begin{aligned}
 I_B &= \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_b} = \frac{12 - 0,7}{470k} = 24,04 \mu A \\
 I_C &= 100 * 24,04 \mu A = 2,4mA \\
 I_E &= (100 + 1) * 24,04 \mu A = 2,43mA \\
 V_B &= V_{cc} - I_B * R_B = 12 - 24,04 \mu A * 470k = 0,7012 \\
 V_{CE} = V_C &= V_{cc} - I_C * R_C = 12 - 2,4mA * 3k = 4,8V \\
 I_{csat} &= \frac{V_{cc}}{R_c} = \frac{12}{3000} = 4mA
 \end{aligned}$$

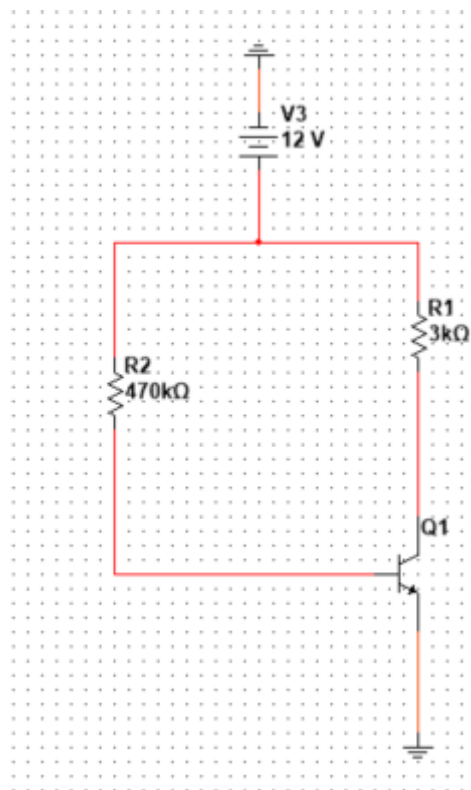


Figura 19 - Circuito simulado

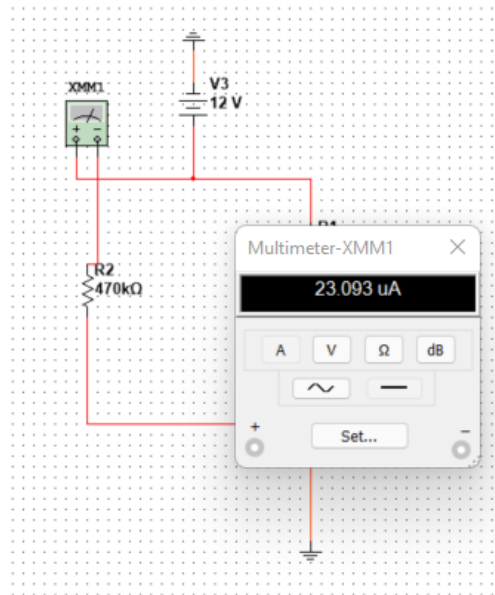


Figura 20 - Mensuração de I_B

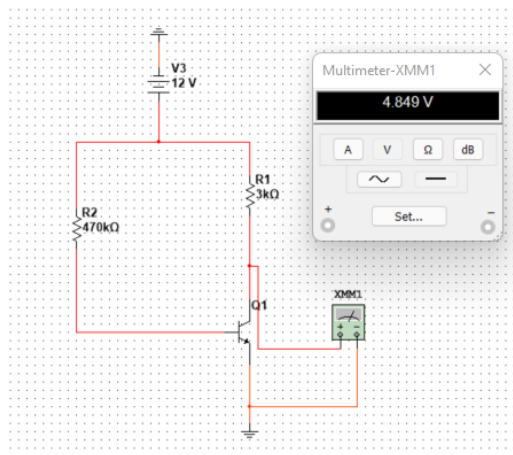


Figura 21 - Mensuração de V_{CE}

TABELA COMPARATIVA

Componente	Cálculo	Simulação
I_B	24,04 μA	23,093 μA
I_C	2,4 mA	2,384 mA
I_E	2,43 mA	2,408 mA
V_B	0,7 V	0,667 V
V_C	4,8 V	4,849 V
V_{CE}	4,8 V	4,849 V

ANÁLISE AC

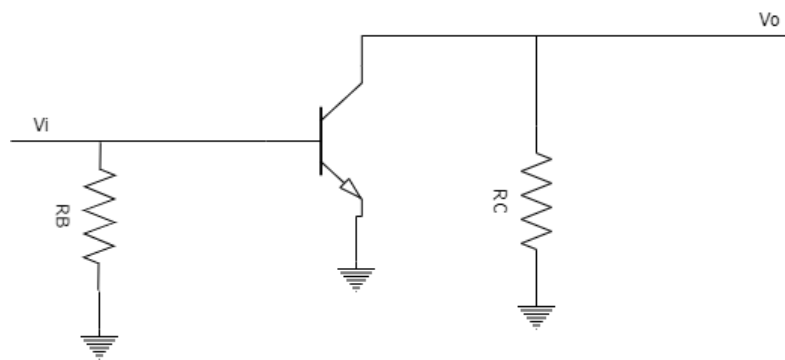


Figura 21 - Análise AC

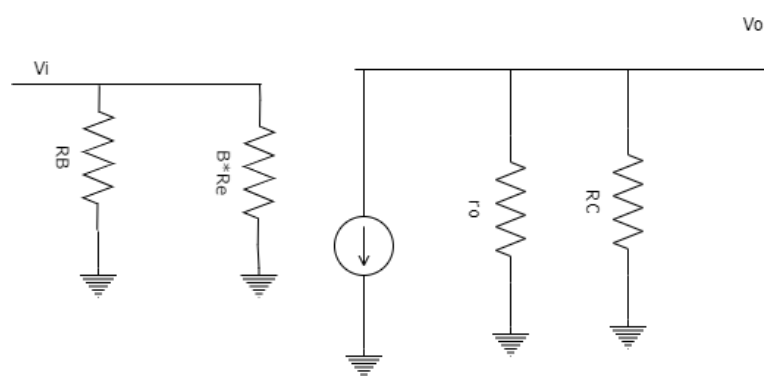


Figura 22 - Análise AC

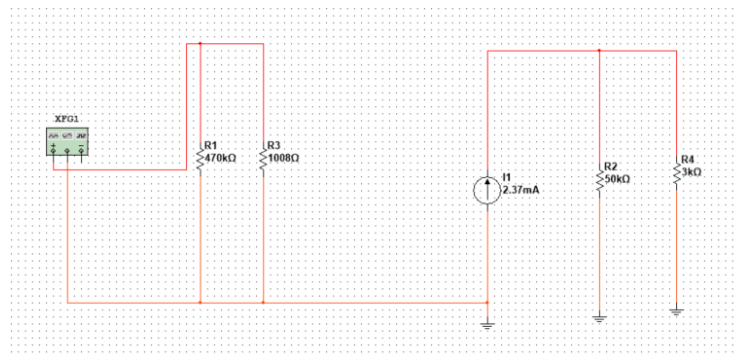


Figura 23 - Simulação AC

$$\begin{aligned}
 R_e &= \frac{26mV}{I_E} = \frac{26mV}{2,4mA} = 10,083 \\
 Z_i &= R_B // \beta * r_e = 47000k // 100 * 10,083 = 1.006,14\Omega \\
 Z_0 &= R_C // r_o = 50k // 3k = 2.830\Omega \\
 A_v &= \frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_c}{r_e} = \frac{-3000}{10,83} = -277 \\
 I_1 &= \alpha * I_E = 2,4mA * \left(\frac{\beta}{\beta+1}\right) = 2,37mA
 \end{aligned}$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	1.006,14Ω	1.080Ω

Z_0	2830Ω	1278Ω
A_v	- 277 dB	-289 dB

3.2 - ANÁLISE AC - EMISSOR COMUM

PROPOSTA

- Simule os circuitos apresentados
- Para cada circuito avalie o ganho de tensão.
- Adicione um gerador de funções na entrada do amplificador. Configure para um sinal senoidal de 1 kHz, com amplitude de 5mV pico.
- Coloque uma ponte de scope em vi e a outra em vo. Vc deve observar na saída um sinal senoidal de mesma frequência da entrada, amplificado pelo ganho de tensão.
- Obtenha o ganho de tensão das formas de onda.
- Compare o resultado da simulação com o calculado

3.2-1 - DIVISOR DE TENSÃO

Determine:

- IC, IE, VB, VE, VC, VCE
- Zi, Zo, AV

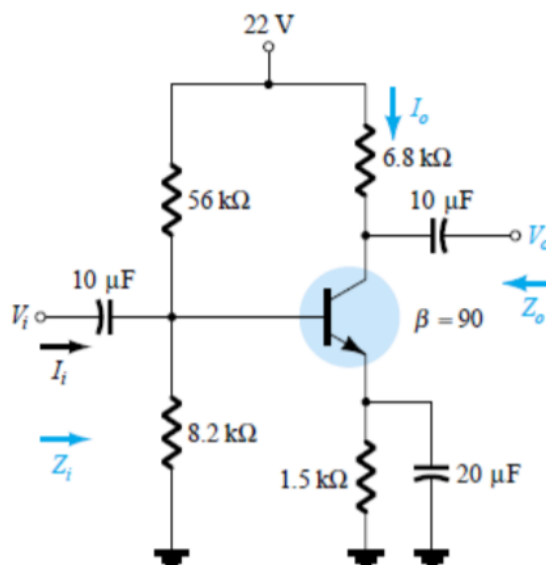


Figura 24 - Circuito proposto

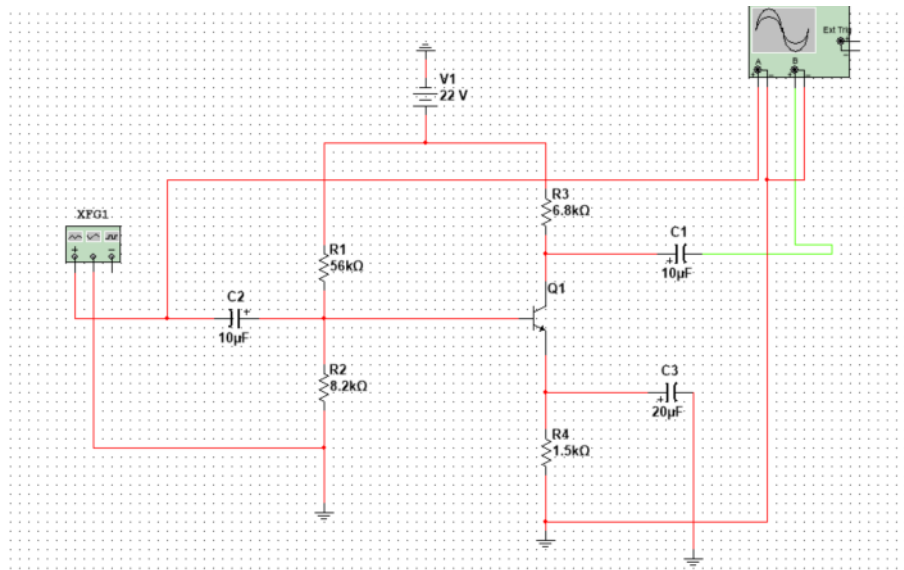


Figura 25 - Simulação

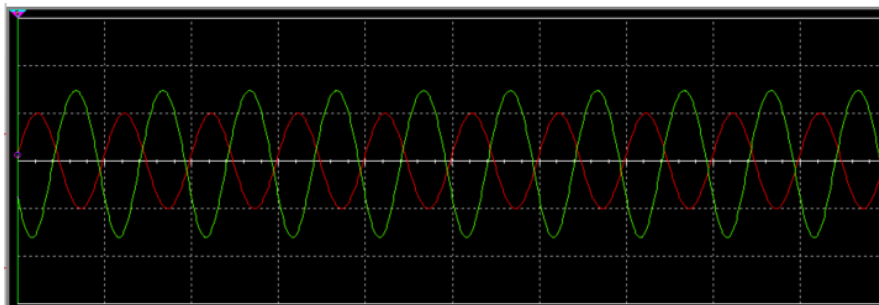


Figura 26 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{1,470 \text{ V}}{-4,491 \text{ mV}} = -327,32 \text{ dB}$$

ANÁLISE DC

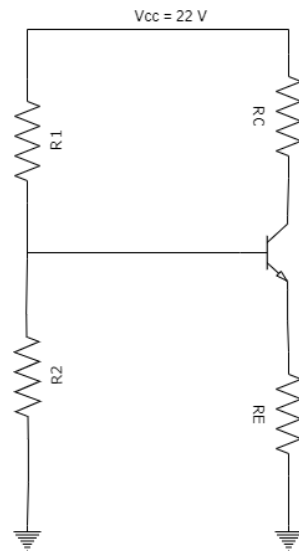


Figura 27 - Análise DC

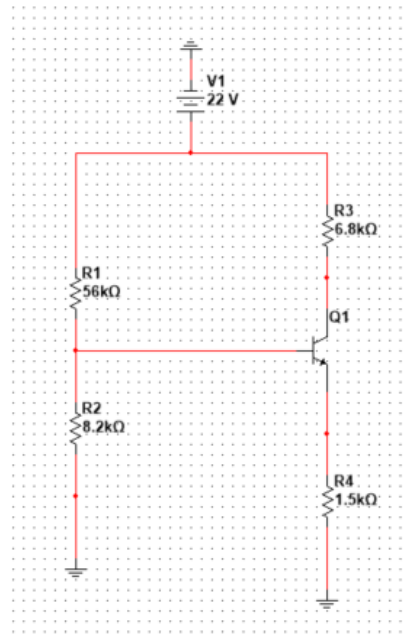


Figura 28 - Simulação DC

$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{8,2k * 22}{8,2k + 56k} = 2,81 V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2,81 - 0,7 = 2,11 V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2,11}{1,5k} = 1,41 mA$$

$$I_C = I_E = 1,41 mA$$

$$V_C = V_{CC} - I_C * R_C = 22 - 1,41 mA * 6,8k = 12,41 V$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C * (R_C + R_E) = 22 - 1,41 \text{ mA} * (6,8k + 1,5k) = 10,3 \text{ V}$$

TABELA COMPARATIVA

Componente	Cálculo	Simulação
VB	2,81 V	2,71 V
VE	2,11 V	1,93 V
IC	1,41 mA	1,27 mA
IE	1,41 mA	1,27 mA
VC	12,41 V	13,53 V
VCE	10,3 V	11,42 V

ANÁLISE AC

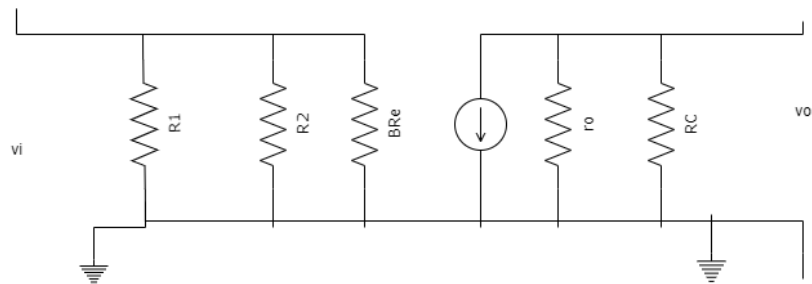


Figura 29 - Análise DC

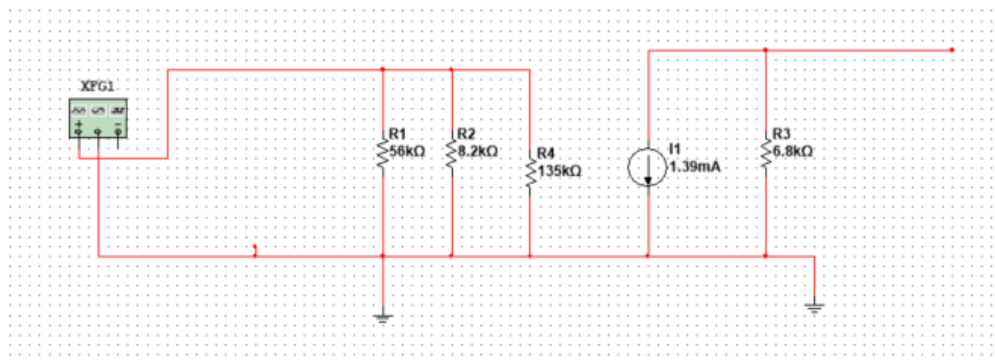


Figura 30 - Simulação análise DC

$$\beta_{re} > 10 * R_2$$

$$90 * 1,5k > 10 * 8,2k$$

$$135k > 82k$$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC} = \frac{8,2k * 22}{56k + 8,2k} = 2,81 \text{ V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2,81 V - 0,7 V = 2,11 V$$

$$R_{th} = R_1 // R_2 = 56k // 8,2k = 7,15k\Omega$$

$$Z_i = R_{th} * \beta r_e = 7,15k // 135k = 6,79k\Omega$$

$$Z_o = R_C = 6,8k\Omega$$

$$A_v = \frac{-RC}{r_e} = - \frac{6,8k}{18,44} = - 368,76$$

$$I_1 = \alpha * I_E = I_1 = 1,41mA * \left(\frac{\beta}{\beta+1}\right) = 1,39 mA$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	6,79kΩ	6,79kΩ
Z0	6,8kΩ	6,8kΩ
Av	- 277 dB	-289 dB

3.2-2 - POLARIZAÇÃO DO EMISSOR

Considere sem o capacitor CE Determine:

a) IB, IC, IE, VB, VE, VC, VCE

b) Zi, Zo, AV

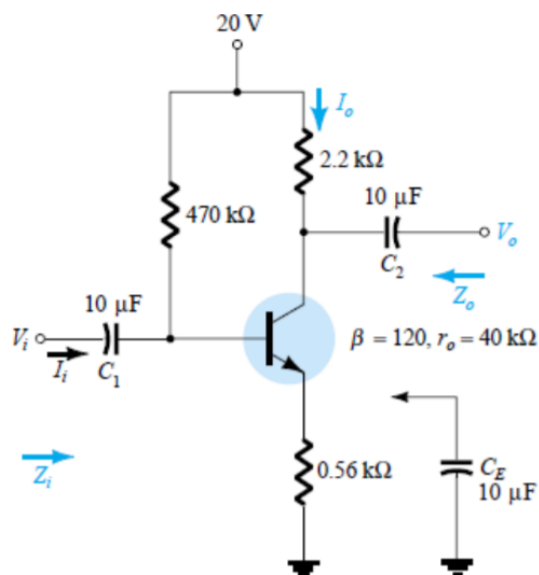


Figura 31 - Circuito proposto

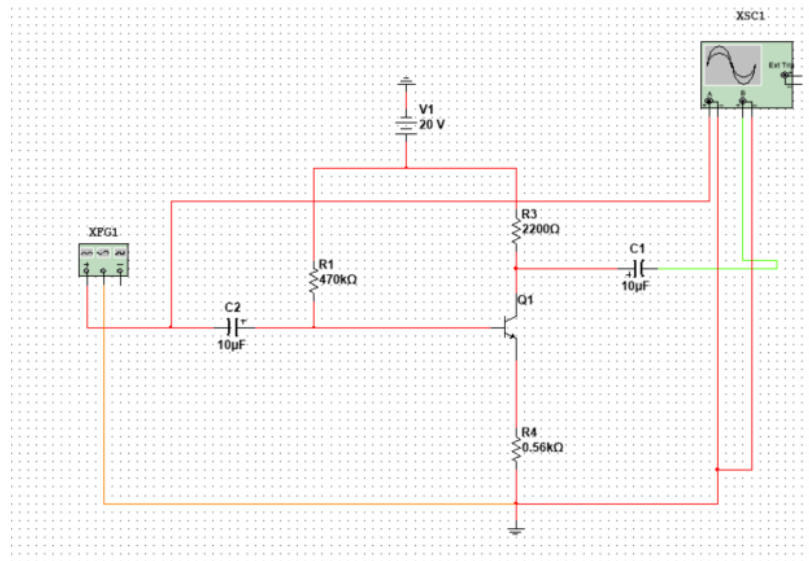


Figura 32 - Simulação

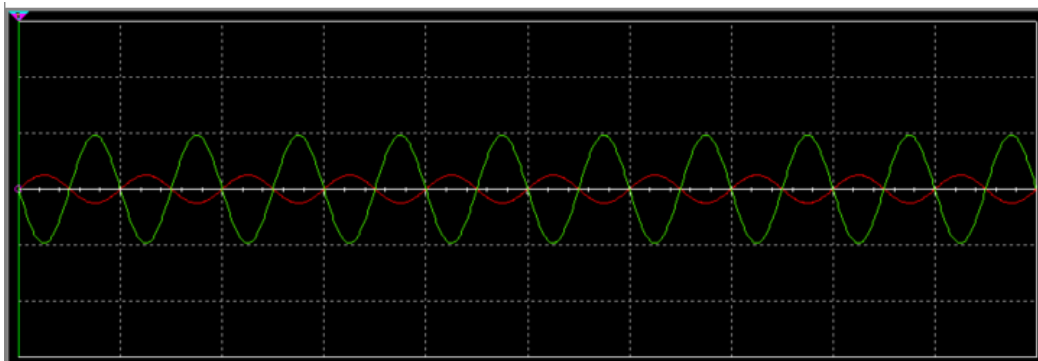


Figura 33 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{18,79mV}{-4,998mV} = - 3.75 dB$$

ANÁLISE DC

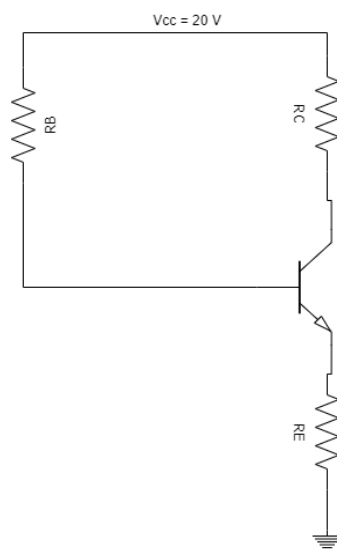


Figura 34 - Análise DC

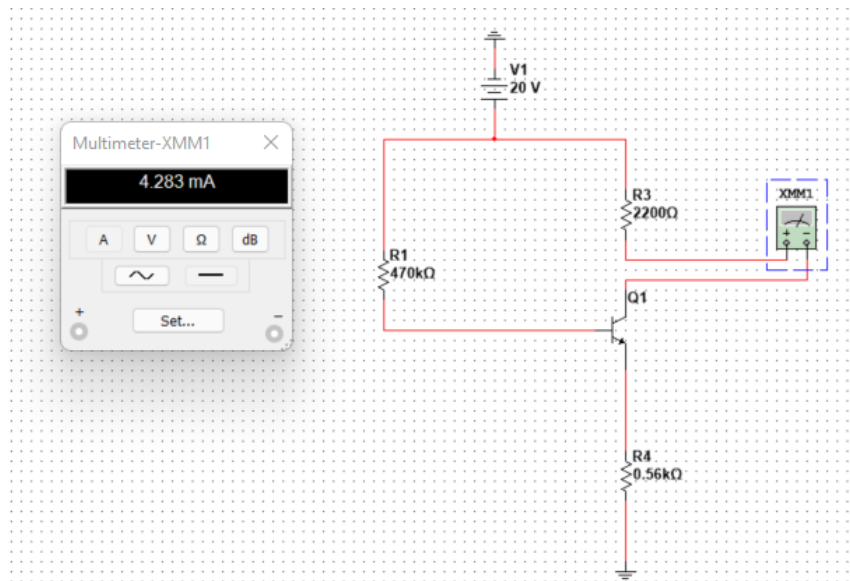


Figura 35 - Simulação DC e mensuração de I_C

$$V_{CC} - I_B * R_B - V_{BE} - (\beta + 1) * I_B * R_E$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) * R_E} = \frac{20 - 0,7}{470k + (120 + 1) * 560} = 35,89 \mu A$$

$$I_E = (\beta + 1) * I_B = 121 * 35,89 \mu A = 4,34 mA$$

$$I_C \simeq I_E$$

$$V_B = V_{CC} - I_B * R_B = 20 - 35,89 \mu A * 470000 = 3,13 V$$

$$V_C = V_{CC} - I_C * R_C = 20 - 4,34 mA * 2200 = 10,452 V$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C * (R_C + R_E) = 20 - 4,34 mA * (2200 + 560) = 8,02 V$$

Componente	Cálculo	Simulação
I_B	$35,9 \mu A$	$35,89 \mu A$
I_C	$4,28 mA$	$4,34 mA$
I_E	$4,29 mA$	$4,34 mA$
V_B	$3,23 V$	$3,13 V$
V_C	$10,58 V$	$10,452 V$
V_{CE}	$8,16 V$	$8,02 V$

ANÁLISE AC

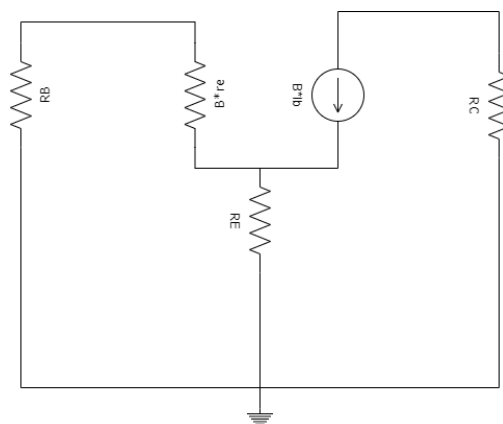


Figura 36 - Análise AC

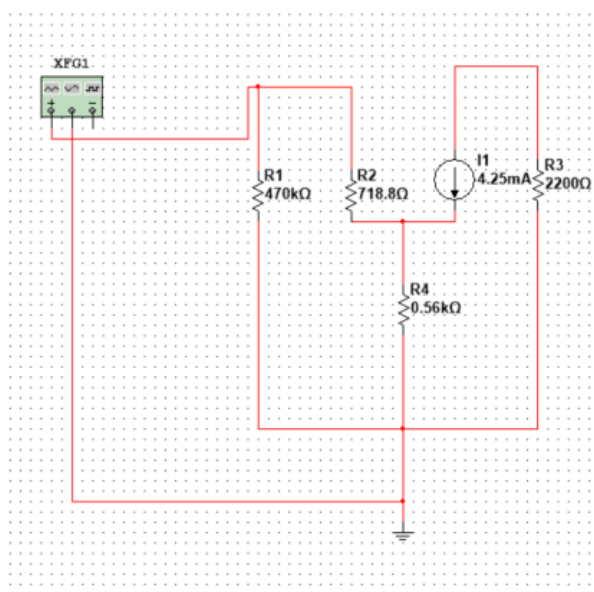


Figura 37 - Simulação AC

ANÁLISE AC

$$Z_b = \frac{v_i}{i_b} = \beta r_e + (\beta + 1) * R_E$$

$$Z_b \simeq \beta(r_e + R_E)$$

$$r_e = \frac{26\text{mV}}{I_E} = \frac{26\text{mV}}{4,34\text{mA}} = 5,99\Omega$$

$$Z_i = R_B // Z_b = 470000 // 120 * (5,99 + 560) = 470000 // 67918,80$$

$$Z_i = 59.343,22$$

$$Z_o = R_C // r_o = 2200 // 40000 = 2,085\text{k}\Omega$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-\beta * R_C}{Z_b} = \frac{-120 * 2200}{67918,8} = -3,89$$

$$I_1 = \alpha * I_E = I_1 = 4,29\text{mA} * \left(\frac{\beta}{\beta+1}\right) = 4,25\text{mA}$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	59,34kΩ	59,77kΩ

Z_0	$2,085\text{k}\Omega$	$3,3\text{k}\Omega$
A_v	$-3,89\text{ dB}$	$-3,75\text{ dB}$

3.2-3 - POLARIZAÇÃO DO EMISSOR

Repita o exercício anterior – Acrescente o capacitor CE

Determine: a) I_B , I_C , I_E , V_B , V_E , V_C , V_{CE}

b) Z_i , Z_o , A_v

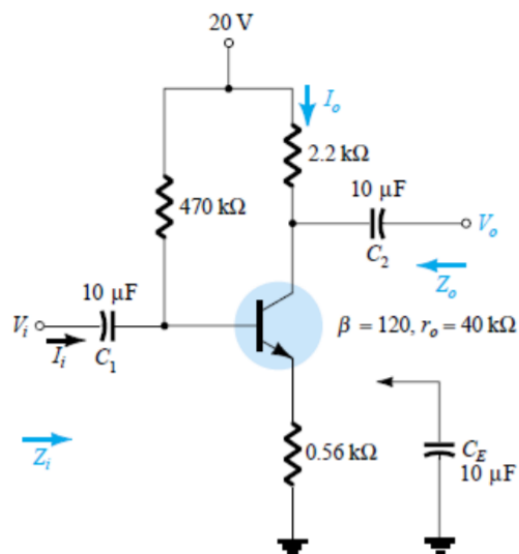


Figura 38 - Circuito proposto

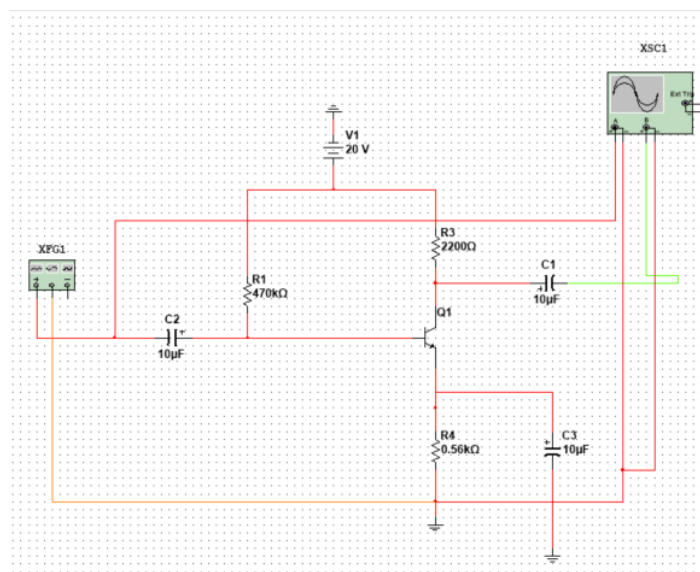


Figura 39 - Circuito simulado

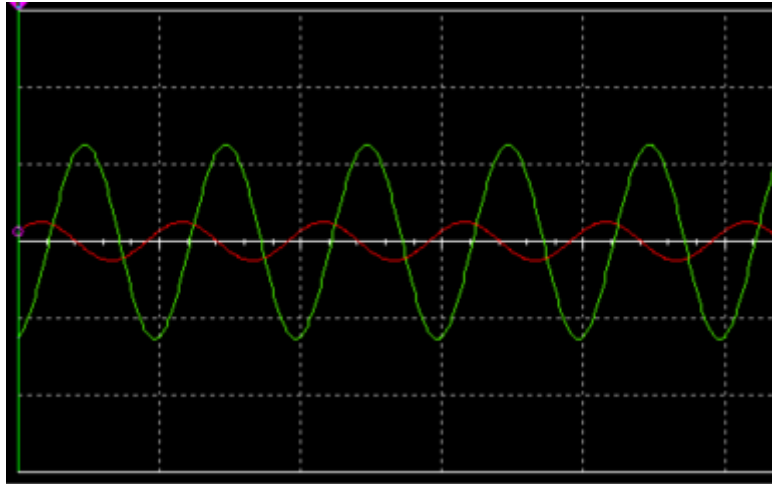


Figura 40 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{626,59mV}{-1,753mV} = -357,43 \text{ dB}$$

ANÁLISE DC

A análise DC permanece inalterada

ANÁLISE AC

Devido a ação do capacitor ao lado do resistor RE, o mesmo entra em curto e é retirado, sendo assim, a análise AC torna-se a mesma que em um circuito de emissor-comum.

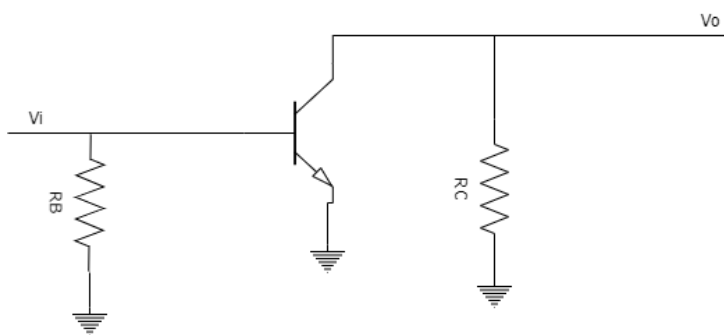


Figura 41 - Análise AC

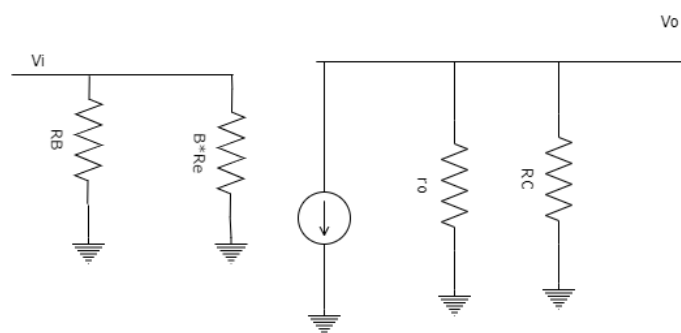


Figura 42 - Análise AC

$$Z_b = \frac{v_i}{i_b} = \beta r_e + (\beta + 1) * R_E$$

$$Z_b \simeq \beta(r_e + R_E)$$

$$r_e = \frac{26mv}{I_E} = \frac{26mv}{4,34mA} = 5,99\Omega$$

$$Z_i = R_B // Z_b = 470000 // 120 * (5,99 + 560) = 470000 // 67918,80$$

$$Z_i = 59.343,22$$

$$Z_o = R_C // r_o = 2200 // 40000 = 2,085k\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_c}{r_e} = \frac{-2200}{5,99} = -372,8$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	59,7kΩ	59,77kΩ
Z0	2,085kΩ	3,3kΩ
Av	- 372,8 dB	-57,43 dB

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos por meio deste relatório através de cálculos e comparações com simulações foram positivos, foi possível visualizar valores muito próximos e entender um pouco mais do funcionamento dos circuitos quando chave e quando amplificadores. Foram revisados conceitos aprendidos durante a segunda média e inseridos novos, com novas equações e análises AC, onde a visão do circuito torna-se diferente e é preciso colocar seus capacitores em curto, obtendo-se assim valores de impedância e ganho de tensão (amplificação).

Durante toda a disciplina os conhecimentos foram consolidados a partir de experimentos simulados, práticos e cálculos, tornando assim a aprendizagem mais ampla.

5. REFERÊNCIAS

MULTISIM, Ni (org.). **¿Cómo Encontrar la Impedancia de un Circuito en Multisim?** 2014. Disponível em: <https://digital.ni.com/public.nsf/allkb/B9197FDAA8E120CD86257D9D008087E9>. Acesso em: 06 dez. 2021.

AMORIM, Prof. Henrique. **TBJ - Análise AC**. São Paulo: Unifesp - Ict, 2021.